

基于有限元法的禽蛋检测机构蛋壳破损率研究

Study on eggshell breakage rate of egg detection mechanism based on FEM

王栓巧¹ 郁志宏²

WANG Shuan-qiao¹ YU Zhi-hong²

(1. 内蒙古建筑职业技术学院, 内蒙古 呼和浩特 010070; 2. 内蒙古农业大学, 内蒙古 呼和浩特 010018)

(1. Inner Mongolia Technical College of Construction, Hohhot, Inner Mongolia 010070, China;

2. Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010018, China)

摘要:为了提高禽蛋品质在线检测机构的检测效率,降低蛋壳在检测中因机械振动产生的破损率,利用有限元分析软件 ANSYS 对检测机构的关键部件双圆弧式滚筒和机架进行模态分析,并经过试验验证。结果表明:当检测机构的振动频率低于 971.28 Hz 时,不会引起双圆弧式滚筒组的振动,蛋壳的破损率降低;机架自振频率相对较低,易引起振动,所以检测机构的减振设计主要以机架为主;利用有限元软件 ANSYS 的模态分析功能分析机构振动特性的方法是可靠的、快捷的,为机构其它构件的振动分析和优化设计提供了依据。

关键词:禽蛋;有限元法;破损率;品质检测

Abstract: In order to improve the detection efficiency of egg quality on-line detection mechanism, and reduce eggshell breakage rate in the detection because of mechanical vibration generated, the modal analysis of the detection mechanism key components of the double circular arc cylinder and frame was carried out, by using the finite element analysis software ANSYS, and then it was tested by experiment. The results showed that the vibration frequency of the detection mechanism, lower than 971.28 Hz, could not cause vibration of double circular drum group, and this helped to reduced the eggshell breakage rate. Moreover, the frame frequency was found relatively low and easy to cause vibration, so the vibration reduction design of the detection mechanism was mainly based on the frame. It was a reliable and rapid method to analyze the vibration characteristics of mechanism by using the modal analysis of finite element software ANSYS, and this laid the foundation for the vibration analysis and optimum design of other components of the detection mechanism.

Keywords: eggs; FEM; breakage rate; quality inspection

和壳色等的检测^[1-2]。禽蛋在包装、加工、运输、甚至在线检测环节中都容易产生裂纹,蛋壳裂纹是使禽蛋新鲜度降低和变质的主要原因之一,严重影响禽蛋的品质,所以及时将待销禽蛋中的裂纹蛋挑拣出来至关重要^[3-4]。为了提高禽蛋品质检测速度以及满足高批量的检测需要,课题组成功研制了一套基于机器视觉的禽蛋品质在线检测系统^[5-6],主要由变频柜、禽蛋品质动态检测机构、机器视觉系统组成。该系统主要采用链条带动单排双圆弧式滚筒组合来实现禽蛋的输送与翻转,当进入检测范围内时,禽蛋以一定的速度向前运动的同时自由翻转,从而保证机器视觉系统能检测到禽蛋的整个表面^[7],实现了实时在线检测。经过对系统多次试验发现,禽蛋品质在线检测机构在工作时产生的机械振动会导致自由翻转过程中的蛋壳破裂,所以研究检测机构的机械振动特性对于降低蛋壳的破损率具有重大意义。双圆弧式滚筒和机架是影响整个检测机构振动特性的关键部件,本试验针对滚筒和机架进行了模态分析,并与试验测试结果进行了对比分析。

1 有限元分析

1.1 受力分析

如图 1 所示,以双圆式滚筒为例,设两个禽蛋间的中心距为 S ,禽蛋接触点轨迹半径为 R_s ,每个双圆弧式滚筒的质量为 m ,双圆弧滚筒小端面半径为 R_m 。双圆弧式滚筒的运动简化为平面运动,一方面随链条以速度 V_1 向前匀速运动,另一方面同时绕自身水平轴 ω_2 做匀速转动。设摩擦带速度 $V_1 > V_2$,分析双圆弧式滚筒的受力,适当地简化得滚筒的受力方程为:

$$N_1 \sin \alpha + N_2 \sin \alpha + mg - N_3 = 0, \quad (1)$$

$$N_1 \cos \alpha - N_2 \cos \alpha + F + F_2 \sin \alpha - F_3 = 0, \quad (2)$$

$$2M_1 + 2M_2 - F_1 R_m - F_2 R_m = 0, \quad (3)$$

$$\cos \alpha = (S/2) / (R_m + R_s), \quad (4)$$

$$M_1 = \delta N_1, M_2 = \delta N_2, \quad (5)$$

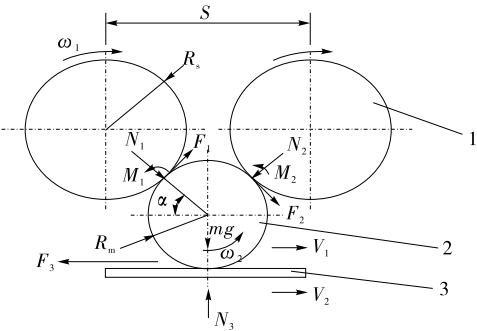
禽蛋的外观品质检测主要包括大小、清洁度、裂纹、壳厚

作者简介:王栓巧,女,内蒙古建筑职业技术学院讲师,硕士。

通信作者:郁志宏(1966—),女,内蒙古农业大学教授,博士。

E-mail: yzhyq@sohu.com

收稿日期:2017-04-06



1. 禽蛋 2. 滚筒 3. 摩擦带

图 1 禽蛋在圆弧形滚筒上的受力图

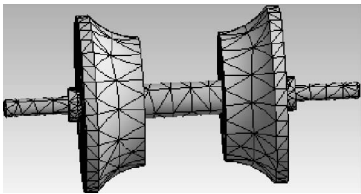
Figure 1 Eggs on the arc of the drum force

式中：
 α ——禽蛋截面中心和双圆弧式滚筒小端端面中心连线与两个禽蛋间中心距的夹角，(°)；
 F_1 、 F_2 ——前后禽蛋与双圆弧式滚筒之间的摩擦力，N；
 N_1 、 N_2 ——前后禽蛋对双圆弧式滚筒的压力，N；
 M_1 、 M_2 ——前后禽蛋与双圆弧式滚筒间的滚动摩擦阻力偶矩，N·m；
 δ ——禽蛋与滚筒间的滚动摩擦系数；
 N_3 ——摩擦带对双圆式滚筒的支持力，N；
 F_3 ——摩擦带与双圆式滚筒之间的摩擦力，N。

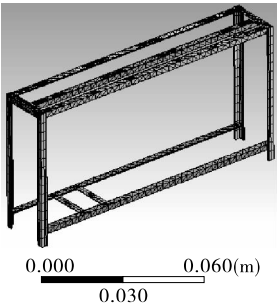
通过计算和实际分析，可得出禽蛋与双圆弧式滚筒之间的 N_1 、 N_2 、 F_1 、 F_2 、 M_1 、 M_2 ，则可求得每对双圆弧式滚筒上的约束条件，为后续的求解和计算提供边界条件。

1.2 有限元建模

先用 Pro/e 建立双圆弧式滚筒和机架的三维实体模型，然后导入 ANSYS 中进行网格划分，建立其有限元模型(见图2)，设置边界条件，求解计算，进行结果分析^[8-10]。其中，



(a) 滚筒有限元模型



(b) 机架有限元模型

图 2 滚筒组与机架的有限元模型

Figure 2 Finite element model of cylinder group and frame

滚筒材料为尼龙，密度 1.14 g/cm³，弹性模量 8 300 N/mm²，泊松比 0.28。轴和机架材料为普通碳素钢，泊松比 0.3，密度 7 830 g/m³。

1.3 模态分析

基于 ANSYS 运算速度快，求解计算中选取扩展模态数为 10，取其 10 阶模态下的固有频率，经迭代运算后，见表 1。

表 1 滚筒组和机架的自振频率

Table 1 The self vibration frequency of the cylinder group and the frame Hz

阶数	滚筒自振频率	机架自振频率
1	971.28	27.258
2	1 670.1	28.138
3	1 673.3	45.316
4	3 253.4	45.787
5	3 637.7	59.872
6	3 651.5	61.028
7	5 329.0	71.041
8	5 339.1	78.289
9	7 199.5	86.421
10	7 204.9	92.263

由表 1 可知，对于滚筒组，从第 4 阶开始，自振频率都在 3 000 Hz 以上，考虑到禽蛋品质在线检测机构的工作频率较低，所以前 3 阶振动频率的模态分析对于实际指导意义较大，见图 3~5；机架的自振频率相对滚筒组都是低频，且差距较大，所以工作中二者不易发生共振，模态分析见图 6~8。

2 结果分析

由图 3~5 可知，各阶模态下，滚筒各部位的振动幅度是不同的，在设计时，为了避免共振现象的发生导致较多部位和较大幅度的振动，应使整机其它部件的固有频率尽量与滚

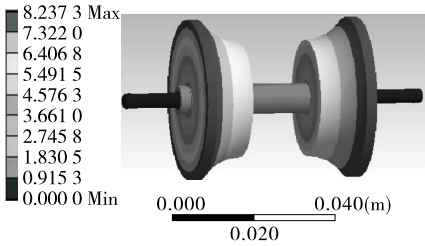


图 3 滚筒组第 1 阶模态

Figure 3 First order modal analysis of cylinder group

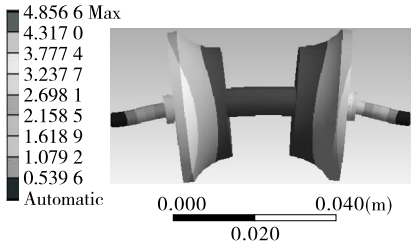


图 4 滚筒组第 2 阶模态

Figure 4 Second order modal analysis of cylinder group

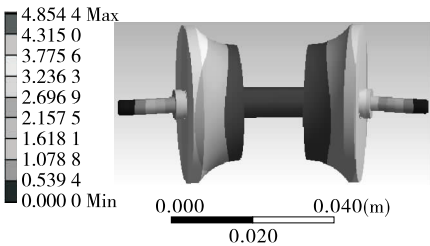


图 5 滚筒组第 3 阶模态

Figure 5 Third order modal analysis of cylinder group

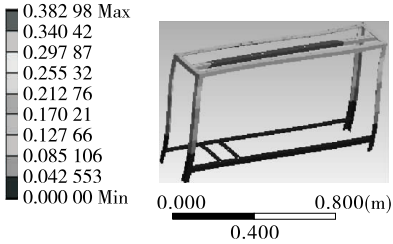


图 6 机架第 1 阶模态

Figure 6 First order modal analysis of frame

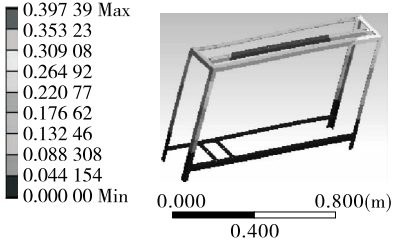


图 7 机架第 2 阶模态

Figure 7 Second order modal analysis of frame

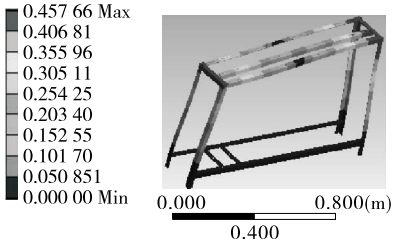


图 8 机架第 3 阶模态

Figure 8 Third order modal analysis of frame

筒组的频率不同。结合表 1 可知,当整机的振动频率低于 971.28 Hz 时,不会引起滚筒组的振动,蛋壳破损的机率就会减小。

表 1 表明,机架的前 10 阶振动频率是 27~93 Hz,相对较低且接近于整机的振动频率,易引起振动,所以禽蛋品质在线检测机构的减振设计主要以机架为主要研究对象,以达到降低蛋壳破损率的目的。由图 6~8 可知,机架振动引起的主要变形是竖直方向 4 个支柱以及横梁的弯曲变形,建议在后期改进设计中,应重点考虑 4 个支柱及横梁的结构参数的变化或选取机械性能更好的材料。

3 试验测试与验证分析

3.1 试验方法

以双圆弧式滚筒的振动试验为研究对象,试验设备有速

度传感器、激振器、XD2 信号发生器、GZ2 型六线测振仪以及 GF-10 型功率放大器。根据在相同频率下激振器和被测物发生共振的原理,通过调节激振器的频率拾取被测物双圆弧式滚筒的多阶固有频率。

3.2 试验结果

考虑到试验结果受 1 Hz 以内的数据影响较小,见表 2。

表 2 滚筒组的自振频率测试结果

Table 2 Test results of the roller group self vibration frequency Hz

阶数	自振频率	阶数	自振频率
1	967	6	3 639
2	1 664	7	5 301
3	1 669	8	5 312
4	3 244	9	7 179
5	3 623	10	7 192

3.3 验证分析

通过对滚筒组 10 阶模态下的自振频率试验数据和模拟数据进行对比分析,来检验模拟结果的准确性,见图 9。测试值低于模拟值,主要原因是在建模时简化了销轴与双圆弧式滚筒的配合关系,销轴与双圆弧式滚筒间的接触采用了理想的全约束。测试时,由于激振器和传感器的顶端与被测面未垂直接触而产生了测量误差。但是从图 9 可以看出,试验与模拟数据结果的误差近似呈线性且在允许范围之内,所以该模拟数据是准确的,方法也是合理可行的。

在今后的研究中可以利用有限元方法对禽蛋品质在线检测机构进行进一步的模态分析,寻找整机以及其他零部件的固有频率和振型,优化设计中尽量避免零部件和整机的共振,达到优化结构、降低蛋壳破损率的目的。

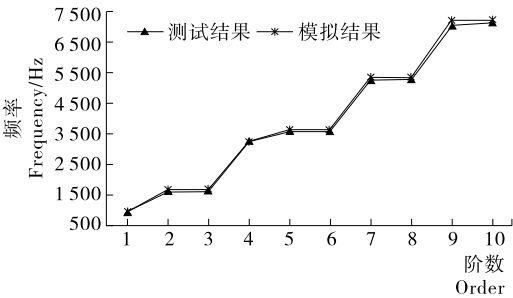


图 9 模拟与试验对比图

Figure 9 Comparison of simulation and experiment

4 结论

(1) 当禽蛋品质在线检测机构的振动频率低于 971.28 Hz 时,不会引起双圆弧式滚筒组的振动,在后续的结构优化中,为了避免共振现象的发生,应使整机其它部件的固有频率尽量与滚筒组的频率不同,实现降低蛋壳破损率。

(2) 机架自振频率整体相对较低且接近于整机的振动频率,易引起振动,而且机架振动易引起竖直方向 4 个支柱以及横梁的弯曲变形,所以禽蛋品质在线检测机构的减振和

(下转第 84 页)

电场,而且高强度的电场集中分布在杀菌处理区域,电场分布特性较理想。

(2) 未优化的椭圆内嵌型共场式杀菌处理腔单元在结构尺寸增大和入口流速提高时,处理腔靠近出口处的金属电极管道内将出现大面积的物料滞留区,在多个处理腔组合使用时成为处理死区,造成杀菌处理不彻底。

(3) 在原有椭圆内嵌型共场式杀菌处理腔的基础上,基于流体特性优化后,提出的一种内部带有锥度的金属电极管结构不仅能使处理腔获得理想的电场强度分布,而且可以使物料出口处获得良好的流体特性,这将有利于多个处理腔的组合杀菌处理,为 PEF 杀菌处理腔的商业化提供了新思路。

参考文献

[1] BUCKOW R, BAUMANN P, SCHROEDER S, et al. Effect of dimensions and geometry of co-field and co-linear pulsed electric field treatment chambers on electric field strength and energy utilisation[J]. Journal of Food Engineering, 2011, 105(3): 545-556.

[2] 胡大华. 中试规模 PEF 杀菌系统研制与实验性能研究[D]. 无锡: 江南大学, 2014: 19.

[3] BUCKOW R, BAUMANN P. Effect of dimensions and geometry of co-field and co-linear pulsed electric field treatment chambers on electric field strength and energy utilisation[J]. Journal of Food Engineering, 2011, 105(3): 545-556.

[4] GERLACH D, ALLEBORN N, BAARS A, et al. Numerical simulations of pulsed electric fields for food preservation: A review[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2008, 9(4): 408-417.

[5] 金伟. 中试规模高压脉冲电场杀菌处理室研究与优化[D]. 无锡: 江南大学, 2013: 21-22.

[6] 颜文旭, 张姗姗, 公群. 高压脉冲电场杀菌多物理场特性研究[J]. 食品与机械, 2016, 32(2): 1-6.

[7] 胡大华, 平雪良, 吉祥, 等. 共场处理室耦合场仿真软件开发与

分析[J]. 食品与机械, 2013, 29(3): 177-181.

[8] 金伟, 平雪良, 吉祥, 等. 高压脉冲电场共场杀菌处理室性能仿真与试验[J]. 农业工程学报, 2012, 28(19): 39-47.

[9] US Food and Drug Administration Center. Kinetics of microbial inactivation for alternative food processing technologies-pulsed electric fields[R].[S. l.]: US Food and Drug Administration Center, 2000.

[10] 黄康. 高压脉冲电场处理室内多物理场对微生物灭活作用的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2013: 96-102.

[11] LINDGREN M, ARONSSON K, GALT S, et al. Simulation of the temperature increase in pulsed electric field (PEF) continuous flow treatment chambers[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2002, 3(3): 233-245.

[12] GERLACH D, ALLEBORN N, BAARS A, et al. Numerical simulations of pulsed electric fields for food preservation: A review[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2008, 9(4): 408-417.

[13] BUCKOW R, SCHROEDER S, BERRES P, et al. Simulation and evaluation of pilot-scale pulsed electric field (PEF) processing[J]. Journal of Food Engineering, 2010, 101(1): 67-77.

[14] KAI K, BUCKOW R, TRUJILLO F J, et al. Multiphysics Simulation of Innovative Food Processing Technologies[J]. Food Engineering Reviews, 2015, 7(2): 64-81.

[15] 陈锦权. 可用于连续式高压脉冲电场设备的脉冲电场处理室: 中国, 200720006068.6[P]. 2009-06-03.

[16] 方婷. 高压脉冲电场杀菌动力学及处理室改进研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2008: 64-78.

[17] 方婷, 魏奇, 陈锦权. 高压脉冲电场处理室的改进及其对液体食品的杀菌效果[J]. 中国农业大学学报, 2015, 20(4): 183-188.

[18] 解效白, 陈炜峰. 电磁脉冲高场强杀菌处理室的研制[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(26): 13 081-13 084.

[19] 王海彦, 刘永刚. ANSYS Fluent 流体数值计算方法与实例[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2015: 15-19.

(上接第 78 页)

结构优化设计以机架为主要研究对象。

(3) 利用有限元软件 ANSYS 的模式分析功能,分析机构振动特性的方法是可靠的、快捷的,可以利用其对机构其他零部件作进一步的模态分析,寻找整机以及其他零部件的固有频率和振型,进行结构优化设计,提高整机品质检测性能。

参考文献

[1] 司徒达, 韩兆鹏, 刘旭明. 鲜禽蛋分级和质量控制技术现状[J]. 中国家禽, 2013, 35(8): 44-48.

[2] 姜松, 漆虹, 王国江, 等. 禽蛋基本特性参数分析与试验[J]. 农业机械学报, 2012, 43(4): 137-141.

[3] 孙力, 蔡健荣, 林颖, 等. 基于声学特性的禽蛋裂纹实时在线检测系统[J]. 农业机械学报, 2011, 42(5): 183-186.

[4] 张超, 卢伟, 丁天华. 禽蛋品质无损检测的研究现状及其展望[J]. 食品工业科技, 2015, 36(18): 381-384.

[5] 介邓飞, 王晓婧, 魏莹. 基于近红外光谱禽蛋新鲜度无损检测模型研究[J]. 食品与机械, 2016, 32(8): 115-118.

[6] 吴佳, 汤全武, 史崇升, 等. 马铃薯品质无损检测技术研究进展[J]. 食品与机械, 2014, 30(3): 257-260.

[7] 王栓巧. 基于机器视觉的种蛋品质检测系统研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2009: 9.

[8] 余坚勇, 郝利民, 钱平, 等. 基于有限元分析的浅盘食品包装容器设计[J]. 食品与机械, 2011, 27(2): 94-97.

[9] 李硕, 肖书浩, 刘静. 基于逆向工程和 ANSYS 的鸡蛋蛋壳受力分析[J]. 机械制造, 2015, 53(10): 25-28.

[10] 丁天华, 卢伟, 张超, 等. 基于 MUSIC 功率谱和 CPNN 的鸡蛋散黄无损检测方法[J]. 南京农业大学学报, 2015, 38(6): 1 009-1 015.